

유전자 알고리즘을 이용한 조류계산

김형철* 이장무* 차준민** 최재석*** 권세혁****
*한국철도기술연구원 **대전대학교 경상대학교*** 고려대학교****

Load Flow Calculation Using Genetic Algorithm

H. Kim J.Lee J. Cha J.,Choi S. Kwon
Korea Railroad Research Institute Daejin University Kyungsang National University Korea University

Abstract - The load flow calculation is one of the most critical issues in electrical power systems. Generally, load flow has been calculated by Gauss-Seidel method and Newton-Raphson method but these methods have some problems such as non-convergence due to heavy load and initial value.

In this paper, to overcome such problems, the power flow is calculated by genetic algorithm. At the heavy load, the solution for problem can not be obtained by the Newton-Raphson method. However, it can be solved in case of using genetic algorithm. In this paper, the strong point of this method would be demonstrated in application to an example system.

1. 서 론

전력계통에 있어서 발전기에서 생산된 전력은 송전선로를 통해서 소비자에게까지 전송되어 소비되고 있다. 이러한 전력의 흐름을 조류라고 하며, 조류에 관한 연구의 목적은 전력계통의 정상상태의 해를 구하는 것이다. 조류계산은 현재의 전력계통의 운용방법 결정 및 확충계획의 입안 뿐 만 아니라, 전력계통의 사고예방제어에 사용되어진다. 조류계산식은 비선형대수방정식으로 나타내어지므로 가우스자이델법과 뉴턴랩슨법으로 해를 구하고 있지만, 지금까지 일반적인 해를 가지고 있지 않다.

유전자 알고리즘은 전력경제, 전력계획, 무효전력 운용 등 전력계통의 분야에 다양하게 적용되고 있다. 본 논문에서는 뉴턴랩슨법에 유전자 알고리즘을 적용하여 조류계산의 해를 구하였다. 기존의 뉴턴랩슨법은 매우 빠른 수렴특성을 지니고 있으나 초기치 문제, 과부하일 때 해의 발산, 복수해의 문제 등을 가지고 있다. 기존의 뉴턴랩슨법의 한계를 극복하기 위해서 유전자 알고리즘이 다음과 같은 이유로 적용될 수 있다.

- 유전자 최적화 프로세스는 조류계산시 초기치 값에 거의 무관하다.
- 유전자 알고리즘은 복수해를 구할 수 있다.
- 유전자 알고리즘은 자코비안 행렬이 없기 때문에 과부하일 경우에도 해를 구할 수 있다.

본 논문에서는 조류계산을 하기위해 유전자 알고리즘을 이용하며, 사용된 유전자 연산자는 산수교차(arithmetical crossover) 연산자, 변이(mutation) 연산자 등이 있다. 유전자 알고리즘의 정확성은 5 모선을 가진 계통 연구를 통하여 입증한다. 또한 그 결과를 기존의 뉴턴랩슨법과 비교하여 유전자 알고리즘의 정확한 결과를 증명한다.

2. 유전자 알고리즘의 조류계산 적용

2.1 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 자연계의 생명체 중 환경에 잘 적응한 개체가 좀더 많은 자손을 남길 수 있다는 자연선택 과정과 자연계의 생명체의 설계도와 같은 유전자의 변화 과정을 통해서 좋은 방향으로 발전해 나간다는 자연진화의 과정을 모방하여 컴퓨터로 모의 수행을 하는 최적화 알고리즘의 하나이다. 유전자 알고리즘의 장점은 목적함수의 미분과정이나 특별한 수학적 연산이 필요하지 않고, 개체들이 모여 이루는 개체군에 의한 병렬적인 탐색이라는 점에서 기존의 최적화 알고리즘과 다르다. 한 세대의 개체군에 속한 개체들은 진화를 거듭하면서, 이전 세대까지 축적된 정보를 서로 교환하고 새로운 영역으로의 탐색을 시도한다. 탐색의 방향이나 영역이 초기값에 의해서 결정되지 않고, 세대마다 확률적으로 결정되므로 국부해(local solution)에 빠질 가능성이 적어 전역 최적화가 가능한 알고리즘으로 알려져 있다. 일반적인 유전자 알고리즘의 절차는 다음과 같다.

1. Create an initial population (usually a randomly generated string)
2. Evaluate all of the individuals (apply some function or formula to the individuals).
3. Select a new population from the old population based on the fitness of the individuals as given by the evaluation function
4. Apply some genetic operators (mutation & crossover) to members of the population to create new solutions.
5. Evaluate these newly created individuals.
6. Repeat steps 3-6 (one generation) until the termination criteria has been satisfied (usually perform for a certain fixed number of generation)

2.2 유전자 알고리즘을 이용한 조류계산

조류계산에 관한 전력방정식 및 각 모선에서의 운전 조건 설정에서와 같이 조류계산은 운전지정값을 토대로 하여 나머지 미지량을 수학적으로 결정해 나가는 것이다. 일반적으로 조류계산은 최적화문제로서 다룰 수 있다. 각 모선의 유효 및 무효전력과 모선 전압의 불일치를 전력방정식과 모선 전압의 제약조건하에 최소화되어야한다. 그러므로 식 (1)에서 목적함수 H는 최소화되어야한다. 목적함수는 전력의 불일치값과 전압의 불일치값으로 정의된다.

$$H = \sum_{i=2}^{nb} \Delta P_i^2 + \sum_{i=2}^{nb-ng} \Delta Q_i^2 + \sum_{i=2}^{ng} \Delta V_i^2 \quad ..(1)$$

- 단 nb : 계통의 총모선수
- ng : 발전기 모선수
- Pi : i번째 모선의 유효전력
- Qi : i번째 모선의 무효전력
- Vi : i번째 모선의 전압

유전자 알고리즘에서 미지량은 슬랙버스와 발전기모선을 제외한 전압 크기와 발전기모선을 제외한 전압각으로 정의된다. 또한, 이러한 값들은 최소 최대 경계값의 조건을 만족해야 된다.

유전자 알고리즘에서 각 염색체는 (2nb-2-ng) 개의 유전인자로써 구성되어진다 모선의 전압각을 나타내는 유전인자는 두 번째 모선으로부터 마지막 모선까지 (nb-1) 개의 모선으로 되어 있으며, 전압크기를 나타내는 유전인자는 발전기모선을 제외한 두 번째 모선으로부터 마지막 모선까지로 나타낸다. 표 1은 염색체에 관한 유전인자를 나타낸다.

표 1 조류계산을 위한 염색체 유전인자
Table 1 The characteristics of Chromosome for load flow calculations

Voltages angles genes					
δ_1	δ_2		δ_i		δ_{nb}
Voltages magnitudes genes					
E_2	E_3		E_i		E_{nb-ng}

조류계산시 유전자 알고리즘 절차는 단선결손도, 선로의 임피던스 값, 각 모선의 설정값을 포함한 기존의 계통 데이터와 함께, 인구수는 염색체 유전인자의 임의 값 (random real number)을 선택한 후, 적응값을 보정하면서 각 인구수(population size), 교차 확률(crossover probability), 변이확률(mutuation probability)과 최대 세대수(maximum generation number)를 정한다. 각 전압각과 전압크기로 표현되는 염색체의 유전인자의 각과 전압크기를 구할 수 있다.

조류계산에 있어서 목적함수는 전력의 불일치를 줄이는 것이다. 다음 식을 이용하여 적응함수(Fitness function)가 최대화되도록 변형된다.

$$F = \frac{M}{M + H} \quad ..(2)$$

표 4. 세대 횟수에 따른 염색체 유전인자 및 적응값
Table 4. The chromosomes and fitness value according to generations

	δ_2	δ_3	δ_4	δ_5	E_2	E_3	E_4	적용값
1회	-0.025500	-0.044700	-0.032200	0.001500	1.114400	1.106100	1.105200	0.017951
⋮								
100회	-0.087800	-0.085291	-0.113761	-0.044021	0.970674	0.968315	0.958965	0.788506
⋮								
500회	-0.079705	-0.085291	-0.100026	-0.036511	0.980191	0.976779	0.965830	0.999715
⋮								
999회	-0.079235	-0.084785	-0.099434	0.036130	0.980530	0.977118	0.966163	0.999715

여기서 M은 적응값(fitness value)이 아주 작은 상수이다. 그러므로 목적함수가 거의 영에 가까울때 적응함수는 1이 된다.

3. 사례연구

제안된 기법을 다음 그림 1과 같이 2개의 발전기모선과 7개의 송전라인으로 구성되어 있는 5 모선 계통에 적용하였다. 표 2는 송전선로 임피던스 값을 나타낸다.

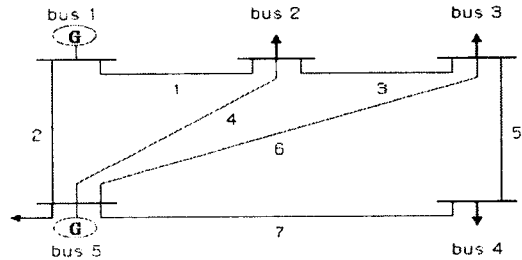


그림 1. 5 모선 계통 예
Fig. 1. The example of 5 bus system

표 2. 선로 임피던스 데이터
Table 2 The data of line impedance

Line No.	Impedance(pu)
1	0.08+j0.24
2	0.02+j0.03
3	0.01+j0.03
4	0.06+j0.18
5	0.08+j0.24
6	0.06+j0.18
7	0.04+j0.12

표 3. 버스 데이터
Table 3. The Bus data

	generation		Load		V	δ
	P	Q	P	Q		
모선 1	-	-	-	-	1.06	0
모선 2	-	-	0.45	0.15	-	-
모선 3	-	-	0.4	0.05	-	-
모선 4	-	-	0.6	0.1	-	-
모선 5	0.4	-	0.2	0.1	1.0	-

여기서 사용되어진 유전자 알고리즘의 매개변수 값은 표 5에 나타내어진다.

표 5 유전자 알고리즘 매개변수
Table 5 The Parameter of Genetic algorithm

인구수(population size)	30
교차 확률 (crossover probability)	0.7
변이 확률 (mutation probability)	0.5
최대 세대수 (maximum generation number)	1000
모션전압 임계치	0.9 ~ 1.1
모션전압각 임계치	-0.17 ~ 0.17

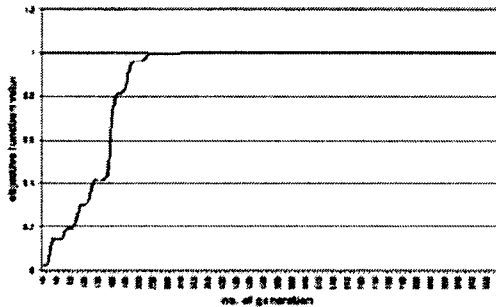


그림 2 세대수에 따른 목적함수
Fig. 2 Objective function by the number of generation

세대 수와 최적염색체의 적응값과의 관계는 그림 2에서 보여주고 있으며 표 6에서는 1000번째 세대수일때 뉴턴랩슨법과 비교한 값을 나타내고 있다.

표 6 뉴턴랩슨법과 유전자 알고리즘의 결과비교
Table 6 The comparison of Newton-Rapson method and Genetic algorithm

Variable	GA solution	Newton-Rapson Method
δ_2	-0.079172	-0.079164
δ_3	-0.084717	-0.84709
δ_4	-0.99362	-0.9935
δ_5	-0.03609	0.036085
E_2	0.980541	0.9805
E_3	0.9771	0.9771
E_4	0.96616	0.96617

표 6은 유전자 알고리즘을 이용한 방법이 정확한 값을 내고 있음을 보여준다. 뉴턴랩슨법의 불일치 값은 1.5×10^{-8} 이고 유전자 알고리즘의 불일치 값은 1.5×10^{-9} 이다.

4. 결 론

본 논문은 조류계산을 풀기 위해 유전자 알고리즘을 이용하였다. 사용된 유전자 연산자는 산수교차(arithmetical crossover), 변이(mutation)와 top selection을 이용하였다. 알고리즘의 정확성은 사례연구를 통하여 입증하였다. 또한 그 결과를 기존의 뉴턴-랩슨법과 비교하여 유전자 알고리즘의 정확한 결과를 증명하였다. 이 유전자 알고리즘은 복수해일 때와 과부하일 때에도 그에 대한 해를 구할 수 있는 장점을 가지고 있다.

그러나 유전 알고리즘은 계산시간이 기존의 뉴턴랩슨법보다 많이 걸리는 단점이 있기 때문에 계산 속도를 향상시키는 연구가 필요하다.

[참 고 문 헌]

- [1] R. N. Dhar , "Computer Aided Power System Operation & Analysis", Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited , 1982.
- [2] Stagg and El-Abiad , "Computer Method in Power System Analysis ", McGraw-Hill Inc., 1968.
- [3] 송길영,, "신편 전력계통공학" 통일출판사, 2003.
- [4] Mitsuo Gen , Runwei Cheng , "Genetic Algorithms & Engineering Optimization", John Wiley & Sons, New York 2000.
- [5] F.M.A. Salam, L.Ni, S.Guo and X.Sun, Parallel Preprocessing for the Load Flow of Power Systems : The Approach and Application", Proceedings of the 28th Conference on Decision and Control San Antonio, Texas , December 1989 , pp 2173-2178
- [6] K.P. Wong, A.Li and T.M.Y. Law , " Development of Constrained genetic algorithm load flow method", IEE Proc. - Gener. Transm. Distrib. , Vol. 144 No. 2, March 1997 ,pp 91-99.
- [7] Goldberg, David E ., "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning ", Addison-Wesley , 1989.
- [8] Michalewicz, Zbigniew , "Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs" ,Third edition, AI Series. Springer-Verlag, New York 1996.
- [9] K.P. Wong, A.Li and T.M.Y. Law , " Advanced Constrained genetic algorithm load flow method" , IEE Proc. - Gener. Transm. Distrib. , Vol. 146 No. 6, November 1999 ,pp 609-616.
- [10] Xiaodong Yin , "Application of Genetic Algorithms to Mutiple Load Flow Solution Problem in electric Power Systems", Proceedings of the 32th Conference on Decision and Control San Antonio, Texas , December 1993 , pp 3734-3739